
BOLLETTINO UNIONE MATEMATICA ITALIANA

Sezione A – La Matematica nella Società e nella Cultura

GIORGIO ISRAEL

Scienza pura e applicata nell'ultimo trentennio: una trasformazione radicale

*Bollettino dell'Unione Matematica Italiana, Serie 8, Vol. 10-A—La
Matematica nella Società e nella Cultura (2007), n.1, p. 21–53.*

Unione Matematica Italiana

[<http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_2007_8_10A_1_21_0>](http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_2007_8_10A_1_21_0)

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Scienza pura e applicata nell'ultimo trentennio: una trasformazione radicale ⁽¹⁾

GIORGIO ISRAEL

1. Dal grande circuito integrato alla scienza «utile».

Vorrei iniziare con un ricordo personale. La mia tesi di laurea verteva su un argomento molto astratto di matematica pura: la teoria algebrica delle molteplicità. Per acquisire le nozioni necessarie di algebra commutativa facevo riferimento ad un manuale classico, *Commutative Algebra* di Oscar Zariski e Pierre Samuel [Zariski, Samuel, 1958]. Nel risvolto della prima pagina del libro si leggeva la seguente avvertenza: «Il lavoro per realizzare questo volume è stato sostenuto in parte da un progetto di ricerca dell'Università di Harvard, finanziato dall'Office of Ordnance Research dell'Esercito degli Stati Uniti, secondo il contratto DA-19-020-ORD-3100». Questa avvertenza mi colpiva molto, perché era difficile capire quale potessero mai essere le applicazioni militari di un soggetto così astratto come l'algebra commutativa. E ancor più sorprendente appariva l'avvertenza all'Appendice 5 – un'appendice dedicata a un argomento davvero molto specializzato come gli «ideali completi negli anelli locali regolari di dimensione 2» – che recitava: «Il lavoro nell'Appendice 5 è stato svolto nell'ambito di un progetto di ricerca presso la Harvard University di Harvard finanziato dall'Air Force Office of Scientific Research».

⁽¹⁾ Questo articolo è una versione riveduta e aggiornata di: G. Israel, «Scienza pura e applicata nell'ultimo trentennio: una trasformazione radicale», *LLULL, Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, vol. 26, 2003, pp. 859-888. Si ringrazia il direttore di LLULL, Elena Ausejo per l'autorizzazione a riprodurre il testo.

Oggigiorno è sempre più raro leggere note di questo genere in calce a libri o articoli concernenti argomenti di matematica astratta e, più in generale, di scienza pura. Difatti, il mutamento più rilevante, che è iniziato da una ventina d'anni fa e che sta oggi raggiungendo il suo apice, è la tendenza a finanziare soltanto ricerche che abbiano applicazioni evidenti se non immediate, e ad abbandonare a se stesse le ricerche teoriche e astratte o, al massimo a dotarle di finanziamenti marginali se non irrilevanti. L'idea che il finanziamento della ricerca scientifica debba giustificarsi in termini evidenti e persino immediati è diventata a tal punto un luogo comune, che non è esagerato immaginare che il conferimento di fondi da parte di un'istituzione militare o industriale per ricerche astratte e generali, di utilità non evidente, ricadrebbe sotto l'accusa di «sperpero» e di «inefficienza», e potrebbe persino attirare l'attenzione della magistratura per il reato di abuso o distrazione di fondi.

Eppure la visione che sosteneva l'idea che l'esercito (o un'impresa industriale) potesse finanziare anche delle ricerche di algebra astratta è stata all'origine del prodigioso sviluppo scientifico tecnologico successivo alla Seconda Guerra Mondiale e che ha fatto, in particolare, degli Stati Uniti il paese leader della ricerca scientifica mondiale. Quella visione concepiva la scienza come un gigantesco circuito completamente integrato, di cui nessuna singola parte funziona ed è vitale senza che funzionino e siano vitali tutte. L'efficacia e la vitalità di un siffatto sistema dipendono dal fatto che ne venga favorito lo sviluppo in ogni sua parte. Poco importa se l'algebra commutativa non appare di utilità immediata: essa può certamente contribuire allo sviluppo dei settori della ricerca contigui e di qui, per successivi rapporti di interazione, anche allo sviluppo di settori più o meno direttamente applicati, e quindi a quello del sistema nel suo insieme. Pertanto, il sistema complessivo è efficiente se non è soggetto a limitazioni in alcuna delle sue parti e se non soffre di disequilibri. In altri termini, se è completamente libero di svilupparsi secondo i suoi criteri interni, ovvero secondo i criteri di libertà che gli sono propri.

Abbiamo parlato di una concezione del sistema della scienza, ma sarebbe più corretto dire che il sistema integrato cui ci si riferisce comprende la scienza in tutti i suoi aspetti, e quindi non soltanto la

scienza pura o quella applicata, ma il sistema «scienza pura – scienza applicata», incluse tutte le forme di tecnologia connesse a tale sistema.

Abbiamo inoltre parlato di «libertà» del sistema di svilupparsi secondo i suoi propri criteri. Questo riferimento potrebbe suggerire di illustrare la situazione con la metafora della «mano invisibile» tratta dall'economia neoclassica e ispirata da un celebre passo di Adam Smith: il sistema, ove sia lasciato a se stesso, ovvero ai suoi propri processi interni, tende verso una condizione di equilibrio e di compatibilità fra le sue differenti parti e armonizza le diverse tensioni che le animano [Ingrao, Israel 1987]. Nulla di più inappropriato di questa metafora alla situazione che stiamo esaminando. Difatti, in questo caso, è presente un paradosso: e cioè che la libertà del sistema non si realizza abbandonandolo a se stesso, bensì creando le condizioni affinché le sue differenti parti si sviluppino senza distorsioni. Per chiarire subito il senso di questo paradosso occorre osservare che le varie parti del sistema «scienza-tecnologia» non sono, dal punto di vista sociale, *egualmente robuste*. La scienza pura può godere di un elevato prestigio sociale – nonostante oggi questo prestigio declini sempre di più – ma non gode delle stesse interessate attenzioni delle scienze applicate. Se essa viene abbandonata a se stessa e privata di ogni aiuto, tenderà a soccombere e a decadere. Pertanto, garantire la libertà di sviluppo del sistema non significa abbandonarlo a se stesso: in tal modo, si otterrebbe il solo risultato di squilibrarlo e di deprimerne o distruggerne le componenti più deboli. Garantire la libertà del sistema significa *proteggerne* le parti più deboli, in particolare *la scienza pura*. Questo è il modo per evitare che la *libertà* della ricerca sia depressa o condizionata. Di qui la motivazione dei sostegni che la concezione – ormai «classica» – del sistema scientifico riteneva vitale accordare alla scienza pura, proprio per evitare che questa parte più delicata ed esposta deperisse e che, di conseguenza, l'intero sistema ne potesse patire le conseguenze.

È evidente, da quanto precede, che un simile punto di vista – che è quello caratteristico della scienza degli anni quaranta, cinquanta e sessanta, soprattutto nel paese leader della ricerca mondiale, gli Stati Uniti, e di cui illustreremo ulteriormente le premesse ideologiche attraverso le parole di uno dei suoi massimi interpreti, John von

Neumann – implica l'adozione non di politiche economico-sociali di tipo liberista, bensì di tipo *keynesiano*. Di fatto, l'ideologia che guida l'organizzazione della ricerca scientifica in quegli anni è un'ideologia *keynesiana*, intesa come la sola via che può garantirne la libertà di sviluppo, e quindi anche l'*efficacia*. Si tratta di una visione keynesiana perché è basata sul principio che garantire la piena libertà di sviluppo della ricerca scientifica sia un *dovere sociale*. In tal senso la ricerca scientifica viene considerata parte di quel nucleo della società che è considerato di *interesse pubblico*, come l'assistenza sociale e sanitaria e pensionistica, in una parola il sistema del *welfare*: quale che sia l'estensione che si vuole dare a questo nucleo, la scienza ne deve far parte.

Occorre insistere sul fatto apparentemente paradossale che una siffatta regolazione consiste proprio nel proteggere la scienza da ogni tentativo di *regolazione a priori* ovvero di *condizionamento*. Quindi essa è agli antipodi dalle regolazioni dettate da premesse di carattere ideologico, quali sono quelle caratteristiche dei sistemi totalitari. Nei regimi fascisti e nazionalsocialisti si interveniva a dettare in modo imperativo le forme del rapporto che doveva intercorrere fra settore puro e applicato della ricerca: per lo più l'equilibrio era definito a favore del secondo, che era soggetto a finalità autarchiche o imperiali. Nel regime sovietico, la situazione era analoga, ma si mirava anche a determinare quali settori della scienza pura dovessero essere privilegiati e quali dovessero essere, al contrario, abbandonati: è ben noto l'ostracismo decretato nei confronti della teoria della relatività e della meccanica quantistica, definite come «scienze borghesi», e la campagna contro la biologia «occidentale» cui venivano contrapposte le teorie lisenkiane⁽²⁾.

È ben noto che il dirigismo politico, laddove ebbe un'effettiva influenza, condusse a conseguenze disastrose per lo sviluppo della

(²) Un analogo ostracismo si verificò anche nella Germania nazista, dove la fisica «moderna» era condannata in quanto «scienza ebraica», piuttosto che «borghese». La situazione è alquanto più complessa e articolata nel contesto italiano, dove pure vennero definiti i connotati che doveva avere una scienza autenticamente «nazionale», ma in forme alquanto diverse da quelle germaniche (cfr. Israel, Nastasi 1998).

scienza⁽³⁾. Ma l'eliminazione di ogni forma di regolazione, ovvero l'introduzione di una linea di liberismo totale – che poi corrisponde al processo crescente di privatizzazione della ricerca scientifica e tecnologica cui assistiamo da circa un ventennio – conduce a risultati analogamente negativi, per non dire disastrosi. Per esempio, una siffatta politica della ricerca conduce chiaramente alla decadenza della scienza pura rispetto a quella applicata. Si tratta precisamente della tendenza cui stiamo assistendo, e in forme clamorose, da parecchi anni. Se si accetta l'idea che la ricerca possa essere privatizzata, essa viene automaticamente collocata fuori dall'ambito dei settori di interesse pubblico e socialmente protetti. All'idea di «socialmente utile» viene sostituita quella di «economicamente utile», e di «immediatamente redditizio». La conseguenza evidente di tale trasformazione è sotto i nostri occhi, ed è divenuta clamorosamente evidente nell'ultimo decennio. Interi settori della ricerca fondamentale sono in via di rapido deperimento o stanno addirittura crollando in quanto non sono reputati «direttamente utili». Interi gruppi di scienziati – e forse appare sempre più derisorio usare questo termine che dovrebbe essere sostituito da quello di «ricercatori» o di operatori scientifici o tecnoscientifici – si sono trasferiti o stanno progressivamente trasferendosi dai campi della ricerca pura (dove i finanziamenti divengono sempre più esigui e la rispettabilità subisce un crollo corrispettivo) ai prati più grassi della ricerca applicata. Ciò è particolarmente evidente nel campo della matematica, dove numerosi matematici di punta hanno abbandonato le ricerche nel campo della geometria o dell'analisi a favore di quelle nel campo dell'analisi numerica e dell'informatica. Anche nel campo della fisica le ricerche teoriche sono considerate

⁽³⁾ Ciò è assolutamente evidente nel declino drammatico della scienza tedesca, e anche nel caso italiano. Nel caso sovietico la situazione è più articolata: l'interesse del regime per le tematiche della meccanica applicata favorì un grande sviluppo della fisica matematica di orientamento classico e probabilistico, mentre non si ebbero sviluppi nel campo relativistico e quantistico. Le conseguenze del «lysenkismo» nel campo biologico furono senz'altro catastrofiche. Un altro esempio è dato dal declino delle ricerche biomatematiche che furono pros critte in quanto antisovietiche: ad esempio il noto biomatematico G. F. Gause dovette abbandonare questo settore dedicandosi a ricerche sugli antibiotici (cfr. G. Israel, A. Millán Gasca 2002b).

sempre meno appetibili. La situazione in biologia è ancor più clamorosa: qui si può ben dire che non esista praticamente più alcuna ricerca di carattere teorico, ma che l'intera disciplina sia stata riassorbita nel campo della biotecnologia e si abbandoni a una prassi di *bricolage* da laboratorio avente pochi riferimenti teorici. Questa tendenza fu già denunciata negli anni settanta dal celebre biologo François Jacob, il quale scriveva: «Non si interroga più la vita nei nostri laboratori» [Jacob 1970, p. 320], indicando così che a un ideale di conoscenza si era sostituita una prassi puramente manipolativa. Quello che appariva allora come un preoccupato avvertimento rappresenta oggi una banale constatazione, che si estende praticamente ad ogni campo della scienza. Si manifesta, al di là delle apparenze, un fastidio per la scienza pura che ricorda le parole di John Hammond, il creatore di *Jurassic Park* nel romanzo di Michael Crichton: «Gli scienziati vogliono far ricerca. Questa è la sola cosa che vogliono fare: ricerca. Non vogliono far nulla. Non vogliono ottenere alcun progresso. Soltanto fare *ricerca*» [Crichton 1990, p. 90].

2. La povertà del concetto di scienza «utile».

Dovrebbe essere evidente – ma non lo è più – che le idee di *redditività immediata* e di *efficacia evidente* applicate alla ricerca scientifica sono profondamente ottuse e inefficienti. Peggio: si tratta di idee distruttive.

I più grandi sviluppi tecnologici del secolo scorso sarebbero stati impossibili senza il motore della scienza pura. Consideriamo il caso della rivoluzione dei calcolatori, che è stato certamente un evento che ha mutato il volto della nostra società. Esso è stato essenzialmente dovuto alla scienza pura. Prima che John von Neumann affrontasse la questione da un punto di vista squisitamente teorico, si assisteva a un continuo perfezionamento delle macchine di calcolo esistenti, attraverso procedimenti di *bricolage* ingegneristico che aumentavano passo passo la potenza delle macchine, ma che non avrebbero mai permesso di rompere la barriera che – come possiamo constatare oggi – avrebbe separato la tecnologia elettro-meccanica dalla tecnologia digitale. L'era digitale fu invece aperta dalla rivoluzione copernicana di John

von Neumann⁽⁴⁾. Von Neumann prese spunto da un modello logico-matematico del sistema neurale cerebrale sviluppato da McCulloch e Pitts. Egli era convinto dell'importanza dei nuovi apparati tecnologici ma riteneva che, per realizzare nuove macchine più potenti ed efficienti, fosse necessaria una fondazione teorica della loro struttura. L'idea fu quella di stabilire un'analogia teorica fra il funzionamento del cervello e gli apparati di calcolo automatico. I lineamenti generali di questa analogia furono esposti in un celebre rapporto (il rapporto sul calcolatore *EDVAC*), che per la prima volta perveniva a descrivere il progetto di un sistema di calcolo digitale ad alta velocità totalmente automatizzato, in cui i triodi elettronici utilizzati riempivano la funzione dei neuroni ideali del modello matematico. Nel rapporto venivano descritte cinque unità di base del calcolatore: l'unità aritmetica centrale, l'unità di memoria (che immagazzinava i dati numerici e le istruzioni codificate in termini numerici), l'unità centrale di controllo (che controllava la sequenza delle operazioni e coordinava il funzionamento delle altre unità per portare a termine il compito programmato) e le unità di input (introduzione dei dati) e di output (emissione dei risultati). L'unità centrale veniva assimilata ai neuroni associativi e le unità di input e output rispettivamente ai neuroni sensoriali e motori.

Il passaggio cruciale – che è interessante per il nostro discorso – fu la necessità cui dovette far fronte von Neumann di convincere un pubblico di ingegneri della necessità di mettere da parte le considerazioni prettamente tecniche per affrontare dapprima la questione *teorica* generale. Il passaggio del rapporto *EDVAC* in cui von Neumann si adopera a convincere un pubblico di cultura tecnica e non molto disposto ad un approccio logico-matematico astratto, merita di essere citato estesamente:

La procedura ideale sarebbe quella di trattare gli elementi per quel che realmente sono: dei tubi sotto vuoto. Tuttavia, ciò richiederebbe un'analisi dettagliata di specifiche questioni di ingegneria radio, e ciò accadrebbe in un

⁽⁴⁾ Per maggiori dettagli si veda G. Israel, A. Millán Gasca 1996 (una nuova versione inglese rinnovata e ampliata è in pubblicazione presso la Duke University Press) e G. Israel, A. Millán Gasca 2002a.

primo stadio della discussione, nel quale troppe alternative sono ancora aperte per poterle trattare esaurientemente in tutti i dettagli. Inoltre, le numerose possibilità alternative di organizzare i procedimenti aritmetici, il controllo logico, ecc., si sovrapporrebbero alle possibilità parimenti numerose nella scelta dei tipi e delle dimensioni dei tubi a vuoto e di altri elementi dei circuiti, dal punto di vista della realizzazione pratica, etc. *Tutto ciò produrrebbe una situazione complicata e opaca in cui l'orientamento preliminare che stiamo tentando di definire sarebbe quasi impossibile.*

Al fine di evitare tutto ciò, baseremo le nostre considerazioni su un elemento *ipotetico*, che funziona essenzialmente come un tubo a vuoto – ovvero come un triodo associato ad un circuito RLC appropriato – ma che sia possibile considerare come un'entità isolata, senza entrare in considerazioni dettagliate di radio frequenza elettromagnetica. Ripetiamo: questa situazione è soltanto provvisoria, soltanto un punto di vista transitorio, per rendere possibile la presente discussione preliminare. *Dopo* le conclusioni della discussione preliminare, gli elementi dovranno essere riconsiderati nella loro vera natura elettromagnetica [von Neumann 1945, in Aspray, Burks 1987: 29-30; i corsivi sono nostri].

Quindi, il rapport *EDVAC* fu il punto di partenza della rivoluzione dei moderni calcolatori proprio perché propose un approccio fondato sulla scienza pura – sulla modellizzazione logico-matematica – che si rivelò poi come il più efficace, *proprio dal punto di vista tecnologico*. Oggi, mentre i calcolatori hanno fatto progressi enormi, e un qualsiasi *personal computer* è straordinariamente più veloce delle enormi macchine di von Neumann, l'architettura dei calcolatori è ancora sostanzialmente quella da lui ideata: occorre constatare che nessuna rivoluzione concettuale paragonabile si è verificata in questo campo e ci troviamo in pieno nell'era di un *bricolage* potenzialmente sterile.

Questa sterilità potrebbe essere argomentata con numerosi esempi, anche nell'ambito strettamente tecnologico ⁽⁵⁾. Limitiamoci a conside-

⁽⁵⁾ Appare evidente la discrepanza sempre più accentuata fra *hardware* e *software* dei calcolatori. La velocità dei calcolatori cresce in modo vertiginoso (ci vengono proposte a prezzi sempre più bassi macchine sempre più veloci e dotate di memoria centrale e memoria di massa smisurate), ma la qualità del software migliora a ritmi molto più lenti. Anzi, in certi casi peggiora. È comune esperienza degli utenti dei *personal computers* che molte «vecchie» applicazioni, pur offrendo minori «accessori» erano assai più stabili e affidabili, mentre le loro rielaborazioni più recenti -- probabilmente in quanto ottenute con tecniche di *bricolage* -- sono meno stabili e danno luogo a continui incidenti.

rare uno dei campi, in linea di principio prettamente teorico – anche se poi con ambizioni direttamente applicate – come quello dell'intelligenza artificiale, il quale, nelle intenzioni dei suoi fautori, dovrebbe avverare il sogno di una macchina simile all'uomo e dimostrare che l'uomo è nient'altro che una macchina.

In un articolo scritto una ventina di anni fa, il celebre matematico Gian Carlo Rota denunciava in modo pungente l'*impasse* in cui già allora si trovava il programma dell'intelligenza artificiale:

[...] la tecnologia del computer scaturita dalla concezione di von Neumann è giunta al livello massimo di sfruttamento, permettendo per la prima volta una visione se non chiaramente formulata, almeno concreta dei problemi di fondazione dell'intelligenza artificiale, e dell'abisso che ci separa dalla loro soluzione [...] Von Neumann fu il primo a rendersi conto della portata pratica della geniale concezione Gentzeniana [della teoria della dimostrazione] e ne derivò l'idea di programming mediante *flowcharts* quale viene utilizzata tuttora. Da allora abbiamo vissuto delle molteplici eredità di Gentzen e von Neumann. Fra i frutti di questa eredità [...] si possono annoverare i linguaggi formali e più recentemente gli stessi *expert systems*, che per la prima volta incorporano nel software la logica del primo ordine. Ma questo stato di cose si accorda col programma dell'intelligenza artificiale? Ricordiamo che il programma basilare dell'intelligenza artificiale è quello di integrare componenti capaci individualmente di svolgere solo funzioni elementari, meccanicamente predeterminate, nell'ambito di un sistema di larga scala che esibisca schemi di comportamento qualitativamente differenti, analoghi a quelli in precedenza riservati ad operatori umani. Si vede che la risposta alla nostra domanda non può essere che negativa. Perché? Nell'intelligenza artificiale di oggi ci troviamo costretti a confrontarci preliminarmente col problema della discussione di fenomeni quali il seguire una regola, il riconoscere un oggetto, il maneggiarlo secondo scopi predeterminati, il saper distinguere il rilevante dall'irrilevante, e in sostanza svolgere un compito assegnato. Queste descrizioni devono venir date con un grado di esattezza e di oggettività che, nel passato, neppure i pensatori più sottili avevano ritenuto necessario raggiungere [Rota 1986, p. 7-8].

Inoltre Rota metteva in luce un singolare paradosso, e cioè che queste difficoltà e questi insuccessi avevano condotto alla critica radicale dell'empirismo proprio dall'interno di un programma che poteva essere considerato come l'espressione più emblematica dell'empirismo:

È così che, paradossalmente, proprio il programma dell'intelligenza artificiale, ultimo prodotto della concezione empiristica dell'esperienza, ha portato alla critica dell'empirismo, critica che è pervenuta dalla fonte più inaspettata, cioè dall'onestà intellettuale dell'ingegnere. [...] Man mano che procede la ricerca sull'intelligenza artificiale, l'obiettivo di formulare una qualche spiegazione del fenomeno del significato sembra allontanarsi. Gli esperimenti, sia psicologici che coi computers, hanno fatto giustizia di tutte le teorie proposte finora, rivelandone il semplicismo.

Non è un caso che problemi scottanti di filosofia, sorprendentemente simili a quelli dell'intelligenza artificiale, sorgano in altri settori di frontiera della scienza contemporanea, quali la teoria dell'evoluzione, la biologia molecolare, la linguistica. [...] E' difficile fare delle predizioni [...] ma oggi cominciamo a intravedere un nuovo scenario nella scienza, nel quale fisici collaboreranno con neurofisiologi, psicologi con informatici, matematici con biologi. Il personaggio dello scienziato eclettico che oggi viene visto o come un raro esempio di genialità o come figura isolata ai confini dell'eccentricità, diventerà in futuro una necessità inderogabile [Rota 1986, p. 10].

È possibile, e anzi probabile, che prima o poi tale «necessità inderogabile» venga riconosciuta. Per il momento, la tendenza sembra ancora essere quella opposta, con il prevalere di un atteggiamento indifferente alle tematiche di carattere concettuale e teorico⁽⁶⁾.

Una ventina di anni il noto fisico-matematico e storico della scienza Clifford A. Truesdell affrontò con decisione questi temi a proposito del rapporto fra matematica pura e applicata, fra analisi matematica e calcolo numerico, con particolare riguardo al ruolo del calcolatore – ovvero in un contesto contiguo a quello dell'intelligenza artificiale. Le tesi assai polemiche e radicali di Truesdell erano esposte in un articolo

⁽⁶⁾ Le prove del prevalere di tale tendenza antiteorica sono innumerevoli. Scegliamo un esempio a caso. Il biologo Henri Atlan [Atlan, Augé, Delmas-Marty, Droit, Fresco, *Le clonage humain*, 1999] ha osservato che il successo nella tecnica di clonazione costituisce una confutazione radicale del paradigma del «tutto è genetica». Eppure -- a riprova del disinteresse che circonda le speculazioni scientifiche concettuali -- di ciò si tace. Anzi, una cattiva divulgazione, spesso incoraggiata da alcuni scienziati, ci propina quotidianamente un'immagine dell'uomo come «macchina genetica». E così un giorno si scopre il gene della gelosia o dell'infedeltà coniugale, un altro giorno quello della paura. Sfidando anche il ridicolo e l'assurdo, col prospettare un futuro in cui tutti saranno «curati» dalla paura. Come se fosse auspicabile mettere in circolazione milioni di automobilisti privi di paura...

dal titolo apocalittico «Il calcolatore: rovina della scienza e minaccia per il genere umano» [Truesdell 1981]. Al di là dell'eccessivo catastrofismo, Truesdell poneva problemi estremamente seri ed enunciava argomenti di grande rigore. La sua tesi gravitava attorno a due argomenti fondamentali: a) il calcolatore ha bisogno di leggi prodotte dalla mente umana su cui funzionare e sviluppare i suoi calcoli; b) il calcolatore è in grado di ragionare soltanto su quantità finite, mentre la matematica e la fisica-matematica forniscono leggi valide in un'infinità di casi. Truesdell sceglieva come esempio per argomentare il suo punto di vista le applicazioni della fisica-matematica alla realizzazione del volo spaziale:

Il volo spaziale sarebbe stato impossibile senza le equazioni classiche del moto. Il calcolo non deve essere confuso con la matematica. Il calcolo è una funzione ripetitiva automatica, come il fissare due dadi controrotanti su una catena di montaggio. Proprio come un essere umano doveva progettare sia la cinghia di trasmissione che porta i due bulloni sia la macchina che li richiede, un essere umano doveva dire al calcolatore, o meglio al gruppo di padroni, direttori, e operai del calcolatore, quali equazioni risolvere. Senza quelle equazioni, sarebbe stato impossibile concepire quali «coefficienti» si dovevano determinare mediante programmi sperimentali, quali condizioni iniziali si dovevano reperire mediante misure oppure assegnare ad arbitrio. Senza quelle equazioni, come potrebbe un calcolatore – un bruto che sa solo incamerare i numeri comuni nell'ordine che gli è stato imposto di seguire, poi sommarli, poi ritenere o scartare il risultato oppure registrarlo su una scheda prescelta – come potrebbe un groviglio di circuiti integrati trasmettere gli ordini che dirigono o correggono continuamente il viaggio dell'uomo sulla luna? Come potrebbe un milione di cifre essere di utilità alcuna, se lo scopo non avesse prescritto di accumulare quelle cifre in un dato punto e quindi fornito la chiave per interpretarle?

Parlo della navigazione interplanetaria non per particolare amore o odio per essa, ma perché è familiare a chiunque e facile ad isolarsi in linea di principio. Mentre molti fattori sono necessari a essa, uno, del tutto indipendente dal calcolo numerico, è ugualmente indispensabile: la meccanica del moto della capsula, perché, senza di essa, tutti gli aspetti militari, politici, sociali, economici, geologici, medici, chimici, biologici, astrofisici (e forse astrologici) sarebbero venuti meno per mancanza di un oggetto a cui applicarsi. La meccanica del moto ha fornito l'ossatura concettuale dell'impresa e le equazioni centrali che i calcolatori hanno ricevuto il comando di risolvere ripetutamente, migliaia e forse perfino milioni di volte, poiché si richiedevano diverse condi-

zioni iniziali e diversi parametri empirici. Questo è l'aspetto che i mass-media non citano mai. Il proletariato intellettuale – le grandi masse che prendono come rivelazione divina ciò che «dicono i dottori» e «dicono gli scienziati» nella stampa d'oggi e dimenticano ciò che questi sacerdoti e astrologhi moderni hanno detto ieri – il proletariato intellettuale che assiste con gioia alla dissipazione di miliardi di dollari, che lui stesso paga sotto forma di tasse, per allestire il più grande spettacolo televisivo di tutti i tempi (finché non cadrà la prossima bomba nucleare o comincerà la guerra biologica), e che presta al fanatismo della scienza una credulità superiore a quella del contadino medievale verso il suo parroco, non ha idea che esista questo aspetto.

Queste equazioni centrali datano da più di 200 anni. Esse furono ottenute da uomini, grandi matematici, che soppesarono i risultati delle osservazioni astronomiche e che posero le loro menti sgombre, disciplinate alla scoperta della semplicità nell'apparente complessità di numeri e numeri su numeri, numeri apparentemente quasi casuali – orribili numeri.

Le equazioni differenziali che regolano i moti delle masse puntiformi e dei corpi rigidi non sono sufficienti a determinare le condizioni del volo nello spazio. Erano pure necessarie la fisica del gas, del calore, delle radiazioni, la meteorologia, la chimica dei carburanti, e, per i voli umani, un'esperienza biologica e medica. È stato veramente un trionfo della scienza applicata. In esso non c'è stato nessun elemento di scoperta scientifica. Senza la scienza classica sarebbe stato impossibile. [Truesdell 1981, pp. 38-40]

Le ragioni per cui la vera guida delle applicazioni è rappresentano la scienza teorica si riconoscono, secondo Truesdell, nell'abisso concettuale incolmabile che separa la matematica mentale dalla matematica realizzata sul calcolatore. Difatti, il calcolatore è capace soltanto di operazioni finite e non può fare da solo alcuna estrapolazione a un numero infinito di casi.

Un calcolatore può fare, prima di rompersi, solo un numero finito di calcoli. Quindi, indipendentemente da quanto grosso e preciso sia il calcolatore esso sa calcolare la soluzione dell'equazione $x^2 = 2$ solo fino ad un certo punto. Il decimale successivo prevaricherà la capacità della macchina. I matematici sin dai primordi della matematica, hanno trattato con precisione e successo le quantità infinite. Quando il più grande calcolatore del momento ha calcolato tutti i decimali di $\sqrt{2}$ alla sua portata, un buono studente del second'anno di matematica è capace di dire esattamente quello che deve essere calcolato da una nuova macchina, più potente, se si devono ottenere con precisione degli ulteriori decimali, ed almeno quanti decimali fornirà il passo successivo. Nessuna

macchina dà informazioni del genere. Esse provengono dallo studio logico degli insiemi infiniti dei numeri.

I calcolatori, sempre più grossi man mano che si riproducono, otterranno mai che ogni decimale, successivo a quello che essi trovano nel loro tentativo di calcolare $\sqrt{2}$, sia zero? Vale a dire, l'espressione di $\sqrt{2}$ sotto forma di frazione decimale sarà mai terminata? Nessun calcolatore, bruto cieco e acefalo qual è, è in grado di rispondere a questa domanda, perché anche se producesse una sfilza di un milione di zeri prima di arrestarsi, gli si potrebbe ancora chiedere quale sarebbe il decimale successivo, e la macchina dovrebbe rimanere zitta. Per converso, gli antichi matematici greci trovarono la risposta definitiva a questa questione più di duemila anni prima dell'invenzione della più primordiale macchina digitale. La risposta è no. La soluzione x di $x^2 = 2$ non può essere uguale al rapporto di due interi p e q . L'equazione $p^2 = 2q^2$ non ha soluzioni per p e q interi. Ad un risultato di questo genere non è capace di pervenire nessun calcolatore. Esso è un risultato matematico non riconducibile ad un calcolo finito. Indipendentemente dal numero di interi che un calcolatore potrebbe tirare fuori, ne rimarrebbero sempre di più grandi, milioni e miliardi e trilioni di volte la massima capacità del calcolatore. [Truesdell 1981, pp. 45-46]

Un classico esempio che viene addotto per provare il «nuovo» ruolo assunto dal calcolatore anche nelle dimostrazioni matematiche è rappresentato dal «teorema dei quattro colori», che proprio in quegli anni fu dimostrato con l'ausilio del calcolo numerico. Ma ecco come Truesdell analizzava il ruolo giocato dalla macchina:

La stampa odierna ci ha annunciato che un calcolatore ha risolto di recente un famoso problema affrontato invano dai matematici per più di cent'anni: per colorare bene una carta geografica (dando una definizione matematica rigorosa ai termini «colorare», «carta geografica», e «bene») sono necessari più di quattro colori? Questo problema, così posto, richiede infinite carte geografiche, ed un calcolatore non è in grado di manipolare nulla che sia infinito. Pertanto l'affermazione è falsa. Infatti una catena di buoni matematici, prolungatasi per oltre un secolo, inclusi fra essi i due che compirono il lavoro finale con il calcolatore, avevano ricondotto il problema all'esame di un numero finito di casi, mediante l'impiego della matematica corrente, tradizionale, mentale. Solo questa riduzione rese possibile persino l'idea di fare appello ad un calcolatore. Il numero finito di casi era troppo grande per degli sforzi umani privi di aiuto, di conseguenza fu fatto molto opportunamente ricorso ad un calcolatore per provare i vari casi, uno per uno. Pure così, il processo algoritmico dovette essere escogitato da dei matematici; a tale scopo, vennero chiamati in

causa dei risultati dimostrati da una costellazione di grandi uomini negli ultimi 250 anni. [Truesdell 1981, pp. 46-47]

Non diversamente si pone il problema della dimostrazione del teorema di Fermat:

Anche i problemi che riguardano gli interi 1, 2, 3,... sono spesso al di fuori della potenza del calcolatore più grande. Si prenda per esempio, problema antico e famoso, la dimostrazione di quello che è erroneamente chiamato «L'ultimo teorema di Fermat»: non ci sono interi x, y, z tali che $x^p + y^p = z^p$ se p è un numero primo dispari. Molti dei grandi matematici si sono dibattuti invano per provare questa semplice proposizione durante gli ultimi trecento anni. Finora non vi sono riusciti, ma i loro tentativi hanno dato luogo a tante scoperte meravigliose nella teoria dei numeri che Harold M. Edwards è stato in grado di scrivere un bel libro in cui sviluppa geneticamente l'argomento raccontando la storia di questo problema. In quel libro, intitolato *Fermat's Last Theorem*, Springer, 1977, a p. VI Edwards scrive: «... virtualmente si è nella posizione di poter provare l'ultimo teorema di Fermat per ogni primo nell'ambito delle capacità di calcolo, ma non si può escludere la possibilità che il teorema sia falso per tutti i primi oltre un certo limite». Non conosco un esempio più illuminante della differenza fra calcolo numerico e matematica. Qui dovrei aggiungere che il calcolo su grandi macchine ha già fornito informazioni importanti su questo problema e altre ne potrà fornire in futuro. Per esempio, potrebbe dimostrare la falsità dell'enunciato di Fermat trovando uno o più primi per cui la sua equazione possiede una soluzione. Ma il calcolo non potrebbe mai risolvere il problema come l'ha posto Edwards. Al contrario, un giorno quel problema può anche essere risolto da un matematico [...]. [Truesdell 1981, pp. 47-48]

Ebbene, noi sappiamo che, pochi anni fa, quel problema è stato risolto da un matematico! E sappiamo che è stato risolto secondo le procedure più tradizionali e «classiche» della ricerca matematica, ovvero facendo uso di procedimenti puramente mentali e basati sull'uso della logica formale. La dimostrazione del teorema di Fermat da parte di Andrew Wiles costituisce una delle più clamorose conferme delle tesi di Truesdell. Il calcolatore è una straordinaria realizzazione, e di per se non è certamente la rovina della scienza né una minaccia per il genere umano. Ma esso può costituire effettivamente un fattore di degenerazione all'interno di una concezione che

confonda il pensiero con il calcolo numerico e metta sullo stesso piano le operazioni della macchina con i procedimenti mentali umani.

In tal senso, è ben vero che il processo cui stiamo assistendo da almeno un ventennio rappresenta la rottura di un sistema che è stato il nucleo propulsivo e la ragione del successo della scienza e della tecnologia. È assai probabile che quel sistema non potesse reggere per una serie di ragioni che tenteremo di illustrare fra poco. Tuttavia, qui siamo ben al di là degli aspetti di una sua crisi interna, e dell'analisi delle modalità di un possibile aggiustamento o reindirizzamento. Siamo di fronte alla scelta deliberata di assumere un orientamento radicalmente diverso, in base a un'ideologia che applica le leggi del mercato (ammesso che tali leggi esistano!) alla scienza, senza neppure darsi la pena di discuterne le possibili implicazioni.

3. La difficoltà di definire un principio di «regolazione»

L'ideologia di cui abbiamo esposto i principi fondamentali – e che abbiamo illustrato con il riferimento a von Neumann, contiene una seria difficoltà relativa al problema di conciliare regolazione e libertà della ricerca scientifica, soprattutto in connessione con i suoi potenziali aspetti di «pericolosità». In termini più espliciti, la domanda è la seguente: come possono essere definiti i limiti di un intervento regolativo in una situazione in cui scienza e tecnologia possono manifestare aspetti pericolosi?

Inutile dire che questo problema si presenta oggi in forme ancor più complesse di quelle del passato. Le risposte contemporanee a questo problema oscillano in genere in modo eccessivamente semplicistico fra forme di denuncia radicale della pericolosità dell'abbinamento «scienza-tecnologia» (o «tecnoscienza») e la tesi scienziata secondo cui la scienza e la tecnologia non possono essere pericolose, ma possono soltanto essere benefiche. Pur respingendo le semplificazioni di coloro che assumono una posizione di rigetto totale della tecnoscienza contemporanea, è difficile negare che la tesi scienziata è improntata a una forma di positivismo grossolano e brutale, il quale oltretutto non tiene alcun conto dei fatti storici. Sarebbe avventato accusare dei fautori ottimisti della scienza e della tecnologia come von Neumann, o

Norbert Wiener, di essere ispirati da un'ideologia antiscientifica o da un'atteggiamento luddista, dalla nostalgia reazionaria del Medioevo e della candela di cera. Costoro erano certamente dei positivisti – sia pure con sfumature differenti – ma non erano tanto grossolani e ottusi da non riconoscere apertamente e senza reticenze la prospettiva che la scienza e la tecnologia potessero addirittura *distruggere* la possibilità di continuare a vivere sul nostro pianeta.

Nella situazione attuale siamo invece costretti entro un'alternativa artificiosa e falsa, che impone di schierarsi nettamente su fronte o su quello opposto: o sul fronte dei fautori di uno scientismo ultra-positivista «residuale», quello di chi afferma con linguaggio da predicatori medioevali che «extra scientiam et technologiam nulla salus»; o sul fronte dei fautori di un pensiero postmoderno che assume talora atteggiamenti apertamente reazionari e che non offre alcuna prospettiva plausibile⁽⁷⁾.

Esaminiamo allora con maggiore dettaglio il pensiero di von Neumann. Esso ci insegna molto sia perché è emblematico della posizione di cui si diceva sopra, sia per la lucidità con cui poneva i problemi e non si nascondeva le possibili contraddizioni.

Von Neumann considerava negativamente ogni visione puramente utilitarista della scienza. Negli appunti scritti per una dichiarazione di fronte al Comitato per l'Energia Atomica del Senato americano del 31 gennaio 1946 [von Neumann 1945], egli metteva in guardia molto concretamente contro i possibili errori nell'ambito dell'intervento regolativo delle agenzie governative (e, in particolare, militari) nella direzione della ricerca scientifica e nella progettazione della politica scientifica nazionale. Si trattava di una messa in guardia basata su una concezione classica della scienza:

Nel regolare la scienza, è importante rendersi conto del fatto che il legislatore sta toccando una materia estremamente delicata. Una regolazione stretta, e persino la minaccia dell'anticipazione di una regolazione stretta, è perfettamente in grado di bloccare il progresso della scienza nel paese in cui

(7) Sulla falsa dicotomia fra scientismo e postmodernismo si veda G. Israel 1998 e G. Israel 2006.

viene posta in essere. Il fatto che delle regolazioni stringenti o irragionevoli possano scoraggiare degli scienziati maturi a perseguire la loro vocazione, o a perseguirla con quel grado di entusiasmo che è necessario per il successo, in se è importante, ma non è il fatto più importante. L'aspetto più importante è questo: il numero di nuovi talenti che accedono ogni anno a un dato campo della scienza è soggetto a considerevoli oscillazioni. Essi diminuiscono o aumentano in risposta all'emergere di nuovi interessi, al mutare delle valutazioni sociali, ai nuovi sviluppi nel settore in oggetto, o in campi contigui, scientifici o applicati, etc. Sono convinto che degli errori apparentemente piccoli nel «regolare» la scienza possono influenzare la «riproduzione» degli scienziati in modo catastrofico.

Pertanto una legislazione sbagliata su questo tema può danneggiare la scienza in questo paese, anche in modo irremediabile. In tal modo, possono essere persi dei grandi valori intellettuali. Indipendentemente da questo, un danno alla scienza fondamentale potrebbe, allo stadio presente dello sviluppo industriale, causare presto un danno paragonabile nella sfera tecnologica, e quindi in quella economica. Infine, poiché altri paesi potrebbero non essere colpiti allo stesso modo, ciò potrebbe recare un danno serio alla difesa nazionale. [von Neumann 1946, p. 500]

D'altra parte non appariva più possibile chiudere gli occhi di fronte ai pericoli che la scienza aveva determinato per la società nel suo complesso e per la stessa natura:

È la prima volta che la scienza ha prodotto dei risultati che richiedono un intervento immediato della società organizzata, del governo. Ovviamente la scienza ha prodotto nel passato molti risultati di grande importanza per la società, direttamente o indirettamente. E vi sono stati processi scientifici che hanno richiesto limitate misure di controllo del governo. Ma è la prima volta che una vasta area di ricerca, proprio nella parte centrale delle scienze fisiche, tocca un vasto fronte della zona vitale della società, e richiede chiaramente una regolamentazione rapida e generale. Ora la scienza fisica è divenuta 'importante' in quel senso doloroso e pericoloso che induce lo stato a intervenire.

[...] Una regolamentazione è necessaria, perché la fisica nucleare, in combinazione con una politica irresponsabile o brutale, può infliggere proprio ora ferite terribili alla società. E con alcuni sviluppi ulteriori, che possono essere realizzati in pochi anni — e probabilmente saranno realizzati da un paese o da un altro — e le cui linee di tendenza sono perfettamente discernibili oggi dagli esperti, la stessa combinazione di fisica e di politica può rendere la superficie della terra inabitabile. [...] D'altra parte, la regolamentazione della scienza, non può andare troppo in là. In verità, non deve andare molto in là in nessun caso, per quanto grandi siano i rischi connessi. [von Neumann 1946, pp. 400-500]

La conclusione del brano è assai significativa perché mette in luce senza reticenze la contraddizione che si è aperta: da un lato la regolamentazione è *necessaria*, d'altro lato, essa *non deve andare molto in là*, senza che sia ben chiaro a quale livello essa debba arrestarsi. In un articolo dal titolo significativo «Can we survive technology» pubblicato sulla rivista *Fortune* nel 1955 [von Neumann 1955b], von Neumann dà mostra di non prendere troppo sul serio le riforme che dovrebbero evitare i rischi inerenti alla scienza ed alla tecnologia, per quanto grandi essi siano, e circa la loro gravità egli si mostra un lucido profeta:

Le terribili possibilità presenti di una guerra nucleare possono aprire la via ad altre possibilità ancor più terribili. Quando diverrà possibile un controllo globale del clima, forse le nostre difficoltà presenti sembreranno semplici. Non dobbiamo illuderci: quando queste possibilità diverranno attuali, saranno sfruttate. Sarà quindi necessario sviluppare delle nuove forme politiche e dei procedimenti adeguati. L'esperienza mostra che dei cambiamenti tecnologici anche minori di quelli che sono ora in gioco trasformano profondamente le relazioni sociali e politiche. L'esperienza mostra anche che queste trasformazioni non sono prevedibili a priori e che le 'prime congetture' attuali al riguardo sono false. Per tutte queste ragioni, non bisogna prendere troppo sul serio né le difficoltà presenti né le riforme ora proposte. [von Neumann 1955b, pp. 519]

Il punto è che il rischio non viene dall'esterno ma è inerente alla stessa struttura della scienza e della tecnologia:

Quale tipo di intervento richiede questa situazione? *Qualsiasi cosa* uno si senta incline a fare, occorre considerare un aspetto decisivo: le stesse tecniche che creano i pericoli e le instabilità sono di per se stesse utili, o strettamente legate all'utilità. Di fatto, quanto più sono utili, tanto più saranno destabilizzanti i loro effetti. Non è una distruttività particolarmente perversa di un'invenzione particolare che crea il pericolo. La potenza tecnologica e l'efficienza tecnologica in quanto tali sono una conquista ambivalente. Il loro pericolo è intrinseco. [von Neumann 1955b, pp. 515]

Per questo motivo, e per quanto inquietante sia il panorama cui ci troviamo di fronte, l'unica forma di regolazione finisce con l'essere quella di *proteggere il *modus operandi* naturale della scienza*:

Sono assolutamente convinto che è necessario mantenere e proteggere il *modus operandi* naturale della ricerca scientifica, e soprattutto due delle sue pietre angolari: la libertà nella scelta dei temi della ricerca di base, e la libertà di pubblicare i suoi risultati [von Neumann 1955b, pp. 500-501]

Le ragioni per cui, dopo aver enunciato in modo quasi drammatico l'esigenza di controllare la scienza, von Neumann finisce con l'escludere praticamente qualsiasi forma di regolazione, sono fondamentalmente due.

La prima ragione è che ogni forma di inibizione di un settore o di un altro rischia di distruggere il sistema tecnoscientifico il quale rappresenta un'unità assoluta: «la scienza è un tutto indivisibile»:

Ogni tentativo di suddividere la fisica nucleare è futile dalle radici. Assoggettare il lavoro sulla fissione dei nuclei pesanti a speciali regole di segretezza sarebbe vano, perché le reazioni dei nuclei leggeri potrebbero assumere più in là un'importanza anche maggiore. Anche il controllo di tutto il lavoro sulle trasmutazioni di tutte le specie atomiche può essere inadeguato: possono esistere altre sorgenti di energia primaria in processi ancora da scoprire. La scienza, e in particolare la fisica, forma un'unità indivisibile, e ogni tentativo di dividerla in compartimenti non può produrre altro che frustrazioni.

[...] le varie parti della tecnologia, come quelle delle scienze soggiacenti, sono così intrecciate che nel lungo periodo nulla di meno che l'eliminazione totale di tutto il progresso tecnologico basterebbe per l'inibizione. [...] le tecniche utili e quelle dannose sono ovunque così prossime le une alle altre che non è mai possibile separare i leoni dagli agnelli. [von Neumann 1955b, pp. 515-516]

La seconda ragione è che un atteggiamento restrittivo e inibitorio sarebbe contrario all'*ethos* dell'era industriale:

[...] le proibizioni nei confronti della tecnologia (invenzione e sviluppo, che sono difficilmente separabili dall'investigazione scientifica soggiacente), sono contrarie all'insieme dell'*ethos* dell'era industriale. Esse sono inconciliabili con la forma principale dell'intellettualità, quale viene intesa nella nostra epoca. È difficile immaginare che restrizioni del genere possano essere imposte con successo nella nostra civiltà. Soltanto se si fossero verificati quei disastri che temiamo, soltanto se l'umanità perdesse ogni illusione circa la civiltà tecnologica, potrebbe essere compiuto un passo del genere. [von Neumann 1955b, pp. 516-517]

La risposta che von Neumann propone è improntata al pragmatismo più semplice e diretto: affidarsi a una sorta di «bricolage» dei rimedi, confidare nella capacità dell'uomo di cavarsela dai disastri.

Quale salvaguardia ci resta? Apparentemente soltanto delle misure di opportunità prese giorno per giorno – o forse anno per anno –, una lunga sequenza di piccole decisioni corrette. [...] La sola sicurezza possibile è relativa e risiede in un esercizio intelligente delle decisioni quotidiane. [...]

L'unico fatto solido è che le difficoltà sono dovute a un'evoluzione che, sebbene utile e costruttiva, è anche pericolosa. E' possibile produrre le correzioni richieste con la velocità necessaria? La risposta più fiduciosa è che la specie umana è stata già sottoposta a simili tests e sembra possedere una capacità congenita di venirne fuori, dopo una dose variabile di sofferenze. Ricercare in anticipo una ricetta completa sarebbe irragionevole. Possiamo specificare soltanto le qualità umane necessarie: pazienza, flessibilità, intelligenza. [von Neumann 1955b, pp. 518-519]

È difficile ammettere che un simile pragmatismo minuto fosse la risposta giusta e certamente non è possibile ammettere oggi che lo sia. Oggi, non soltanto la fiducia nella tecnologia appare scossa e strati crescenti di persone rischiano di aderire a posizioni irrazionali a causa del timore che la società tecnoscientifica ci stia trascinando verso enormi rischi senza aver alcuna capacità di controllo degli effetti delle proprie scelte e dei propri prodotti. Ma è ormai un fatto che gran parte del mondo scientifico è costretta a misurarsi con la necessità di formulare delle proposte di lungo periodo – e non misure spicciole – capaci di fronteggiare grandi fenomeni planetari che stanno già modificando in modo radicalmente negativo la vita umana, come il surriscaldamento dell'atmosfera (o «effetto serra») e i conseguenti cambiamenti climatici. Si trattava peraltro di fenomeni che von Neumann aveva previsto – egli ebbe a scrivere esplicitamente del rischio allora già evidente del surriscaldamento dell'atmosfera – ma i cui aspetti più negativi gli sembravano ricadere ancora tutti nella sfera del «controllo»: abbiamo visto come egli dicesse che quando fosse divenuto possibile un «controllo globale del clima», le difficoltà degli anni cinquanta sarebbero apparse «semplici». Ma noi sappiamo oggi che i rischi legati ai cambiamenti climatici non sono legati a una capacità di controllo, bensì – e al contrario – a una incapacità di

controllo, e alla progressiva acquisizione (anche scientifica) del fatto che certi fenomeni sfuggono per loro natura a un controllo basato su principi rigorosamente determinati. Oggi sarebbe difficile accontentarsi di una soluzione della dicotomia fra «libertà» e «regolazione» della scienza nei termini di un pragmatismo semplicistico, come quello proposto da von Neumann, che, di fatto, lascia aperta la strada a una visione che esclude ogni forma di controllo.

In realtà, la visione di von Neumann non si riduceva né a questo pragmatismo spicciolo, né a un liberismo totale. L'altro elemento decisivo nella sua visione era il ruolo degli scienziati cui egli attribuiva – in un'ottica di sapore illuministico – il ruolo di «saggi» che avrebbero potuto suggerire le scelte migliori e comunque le più ragionevoli. Non è possibile negare che le scelte di von Neumann furono sempre dettate da convinzioni radicate in una visione etica assai ben definita, e in particolare nel valore primario della democrazia liberale, che considerava un bene da difendere ad ogni costo. È altrettanto certo che la scienza e la visione scientifica delle cose fu il centro di gravità di tutti i suoi pensieri. Di qui la convinzione profonda che ogni questione potesse essere risolta o avviata a una risoluzione quantomeno ragionevole e accettabile purché venisse affrontata secondo i principi della razionalità scientifica. E di qui il ruolo centrale che egli attribuiva alla comunità scientifica come *guida illuminata della società*. Soltanto gli scienziati possono garantire una gestione ragionevole (se non razionale) della società. Si trattava dunque, come si è detto, di un punto di vista neo-illuminista che riprendeva, pur in un quadro così lontano e diverso, i principi della filosofia scientifica del Settecento. Anche così può essere spiegata la sua adesione entusiastica agli ideali della società americana, che egli vedeva profondamente radicati in quei principi.

Al contempo, occorre sottolineare gli aspetti illusori di quella visione. Ai suoi aspetti nobili finirono con l'affiancarsi aspetti degenerativi, dovuti in particolare alla pressione delle circostanze storico-politiche. Il peso crescente che assumevano personaggi di estrazione scientifica come von Neumann, in stretto collegamento con l'apparato militare e industriale, determinò la formazione di una élite scientifico-tecnologica che finì per esercitare un potere smisurato, capace non

soltanto di contendere spazi al potere politico, ma persino di condizionarne le scelte e di mettere in discussione le regole tradizionali della democrazia. L'ammissione più clamorosa di questo stato di cose fu fatta dallo stesso presidente Eisenhower che, tracciando il bilancio della sua attività di governo in un discorso tenuto il 17 gennaio 1961, rivelava i conflitti e i problemi che aveva dovuto affrontare: «Nei consessi governativi occorre guardarsi dalla manifestazione di influenze arbitrarie da parte del *complesso militare-industriale*, indipendentemente dal fatto che esse siano consapevolmente perseguite oppure no. Il rischio potenziale dell'insorgere disastroso di un potere indebito esiste e persisterà nel futuro. [...] *Pur nutrendo il massimo rispetto per le ricerche e per le scoperte scientifiche*, com'è necessario, dobbiamo anche essere attenti al pericolo che la politica pubblica possa diventare prigioniera di una *élite scientifico-tecnologica*» [cit. in Heims 1980, p. 244, corsivo nostro].

Si tratta di una testimonianza autorevole che fornisce materia di riflessione – quanto mai attuale – circa i rischi dell'idea, pur animata dalle migliori intenzioni, secondo cui l'apparato tecnoscientifico sarebbe in grado di fornire da solo tutti gli elementi necessari a una gestione razionale e «giusta» della società.

D'altra parte, l'approccio di von Neumann non poteva non fallire per alcune contraddizioni interne che abbiamo in parte già messo in luce.

Si è detto come esso evidenzi in modo chiaro la tensione fra necessità di regolazione e necessità di evitarla o ridurla al minimo, per non distruggere il sistema ricerca-tecnologia. Ma la tensione è soltanto messa in luce e non risolta. Di fatto, si finisce anzi con un netto sbilanciamento sul lato dell'assenza di regolazione. Noi siamo convinti, con von Neumann, che la protezione della libertà della scienza sia la condizione per la sua massima efficienza, ma crediamo che la questione del controllo degli effetti perversi non possa essere liquidato semplicemente, dopo averlo dipinto in tutti i suoi aspetti più terribili. La questione è complessa e non ammette soluzioni semplici. Di fatto, von Neumann adottò la soluzione semplice perché era ideologicamente convinto del fatto che l'*ethos* della società industriale non può ammettere la limitazione o il controllo della tecnologia. In tal modo, egli dispense i panni dello scienziato neutrale che offre i suoi servizi in nome

della razionalità disinteressata, e – nell'adesione a un'ideologia – vesti i panni di un cittadino qualsiasi. La sua vicenda conseguì un altro risultato, e cioè quello di disvelare l'impossibilità del progetto di una gestione razionale e scientifica della società. La società gestita dai sapienti è un sogno deleterio, quanto meno impossibile. Il problema della democrazia non può essere eluso.

4. Illusioni e guasti dello scientismo.

Tuttavia, dell'ideologia che abbiamo descritto nella sezione precedente è rimasto qualcosa. Si tratta dell'illusione secondo cui gli esperti scientifici possono fornire orientamenti per le decisioni di regolazione della tecnoscienza. Si tratta di un'illusione perché, sebbene l'informazione scientifica sia materia fondamentale per le decisioni relative all'uso sociale delle scoperte scientifiche, tali decisioni vengono inevitabilmente prese sulla base di ragioni di natura del tutto extra-scientifica. Lo scienziato può fornire determinate informazioni, ma non ha senso che egli decida su questioni che sono di dominio esclusivo delle concezioni etiche, religiose, filosofiche, politiche, ovvero di una «concezione generale del mondo». O meglio, ha perfettamente senso che egli decida, ma quando lo fa agisce soltanto come una persona, un cittadino qualsiasi. Non a caso, le informazioni scientifiche non riescono mai ad avere carattere dirimente sulle questioni etiche e morali, ed è frequentissimo il caso di scienziati che, pur partendo dalle medesime conoscenze, propongono scelte diametralmente opposte, per esempio per quel che riguarda questioni come la clonazione umana, l'uso degli embrioni e così via.

Di qui discende l'equivoco delle commissioni «etiche», nell'ambito delle quali si tentano di risolvere i problemi dell'impatto sociale della scienza e della tecnologia. Questo equivoco diventa insostenibile quando si attribuisce allo scienziato che ne fa parte non soltanto il ruolo di trasmettitore di informazioni, ma un ruolo speciale e *super partes* di «esperto» delle questioni sociali ed etiche. In tal modo, si oscura il fatto che la sfera etica appartiene ai cittadini, e lo scienziato e il tecnologo possono pronunciarsi in modo razionale soltanto in quanto cittadini e soggetti etici al pari degli altri. Altrimenti essi diventano

soltanto la foglia di fico per decisioni di altra natura e prese per ragioni totalmente extra-scientifiche.

D'altra parte, abbiamo visto che von Neumann, per difendere il suo punto di vista, parlava di *ethos* dell'era industriale. In tal modo, egli ricorreva a un argomento del tutto extra-scientifico e forniva così la conferma che qui non si trattava più di questioni di scienza, ma di una questione puramente etica. E su tale materia le scienze positive non hanno nulla da dire: ricercare una risposta entro un discorso scientifico o tecnico significa ridurre il problema a una questione fattuale priva di senso rispetto alle questioni in gioco.

Edmund Husserl così riassumeva un sentimento diffuso alla sua epoca nei confronti della incapacità della scienza di fornire risposte ai problemi più scottanti per la vita umana e associata:

Nella miseria della nostra vita – si sente dire – questa scienza non ha niente da dirci. Essa esclude di principio proprio quei problemi che sono i più scottanti per l'uomo [...] i problemi del senso e del non senso dell'esistenza umana nel suo complesso. Questi problemi concernono [...] l'uomo che deve liberamente scegliere, l'uomo che è libero di plasmare razionalmente se stesso e il mondo che lo circonda. Che cosa ha da dire questa scienza sulla ragione e sulla non-ragione, che cosa ha da dire su di noi in quanto soggetti di questa libertà? Ovviamente, la mera scienza di fatti non ha nulla da dirci a questo proposito ... [Possiamo ammettere] che la storia non ha altro da insegnare se non che tutte le forme del mondo spirituale, tutti i legami di vita, gli ideali, le norme che volta per volta hanno fornito una direzione agli uomini, si formano e poi si dissolvono come onde fuggenti, che così è sempre stato e sempre sarà, che la ragione è destinata a trasformarsi sempre di nuovo in non-senso, gli atti provvidi in flagelli? Possiamo accontentarci di ciò, possiamo vivere in questo mondo in cui il divenire storico non è altro che una catena incessante di slanci illusori e di amare delusioni? [Husserl 1959, pp. 35-36 (ed.it.)].

Tuttavia, ricordava Husserl, la scienza non è sempre stata una mera conoscenza fattuale. Essa ha fatto parte di un sistema generale della conoscenza, soprattutto nella fase fondativa della scienza moderna. Pertanto, il concetto positivistico di scienza è un concetto *residuale*, rispetto a quel progetto globale. Ma, se così stanno le cose, la tecnoscienza che si è affermata negli ultimi decenni è un *residuo del residuo*. Se la concezione di von Neumann è improntata a un positivi-

smo e a un pragmatismo alquanto rinunciatari⁽⁸⁾, la visione oggi prevalente ha abbandonato ogni ideale conoscitivo a vantaggio di obbiettivi puramente manipolativi.

Come è potuto accadere questo? Come è potuto accadere che la scienza attuale (o, per meglio dire, la tecnoscienza) abbia perso ogni ambizione conoscitiva e si limiti a scopi meramente trasformativi, pratici, finalizzati all'utilità ed alla redditività? Ciò è accaduto perché, la visione alla von Neumann (che ha avuto un gran peso, negli anni della Guerra Fredda e del keynesismo) ha ceduto il passo ad una visione totalmente «liberistica» dello sviluppo della scienza e della tecnologia, che non prevede neppure l'aspetto della regolazione in termini «protettivi» e, in tal modo ha sbilanciato completamente l'equilibrio a favore delle applicazioni direttamente utilitaristiche e redditizie. Il risultato è stato la distruzione del sistema unitario della scienza e tecnologia a favore di qualcosa che abbiamo chiamato *tecnoscienza*, nel senso che le applicazioni tecnologiche tendono a procedere da sole senza teoria, o con poca teoria, o comunque con quel poco di teoria strettamente necessaria di volta in volta. Ed è per questo che abbiamo ripetutamente parlato di una metodologia da *bricolage*.

Questo non significa che la scienza sia entrata o debba entrare in una crisi irreversibile. Le previsioni di von Neumann sono vere e false al contempo. Il sistema non si arresta affatto e, tutto sommato, non da segni sensibili di cedimento. Ma esso è ormai qualcosa di completamente diverso da quell'impresa che abbiamo appreso a conoscere da alcuni secoli. Sotto questo profilo – e cioè dal punto di vista dell'ideale conoscitivo – è difficile negare che le scienze contemporanee mostrino

⁽⁸⁾ La rinuncia all'ideale esplicativo e, in parte, anche a quello interpretativo, è esplicita in questo noto passaggio: «[...] le scienze non cercano di spiegare, a malapena tentano di interpretare, ma fanno soprattutto dei modelli. Per modello si intende un costrutto matematico che, con l'aggiunta di certe interpretazioni verbali, descrive dei fenomeni osservati. La giustificazione di un siffatto costrutto matematico è soltanto e precisamente che ci si aspetta che funzioni – cioè descriva correttamente i fenomeni in un'area ragionevolmente ampia. Inoltre, esso deve soddisfare certi criteri estetici – cioè, in relazione con la quantità di descrizione che fornisce, deve essere piuttosto semplice.» [von Neumann 1955a, pp. 492].

aspetti di crisi e di involuzione talora impressionanti. L'ambito in cui tale crisi appare più evidente è quello degli sviluppi teorici: quando non si è completamente rinunciato alle speculazioni di natura teorica, se ne offre in sostituzione una parodia. Non è possibile qui entrare nei dettagli di siffatti sviluppi di natura «teorica», in particolare per quanto riguarda la modellistica matematica, per i quali rinviamo ad alcuni scritti specifici⁽⁹⁾. Appare evidente che, soprattutto nei campi delle applicazioni matematiche all'economia, alle scienze sociali ed alle scienze biologiche – ovvero nei settori caratteristici di una fondazione teorica delle scienze non fisiche – la qualità dei risultati raggiunti è, a dir poco, deludente. L'aspetto più sconcertante è che tale cattiva qualità dei risultati, pur evidente e ammessa, viene sottaciuta e comunque non dà luogo al risultato che sarebbe corretto e inevitabile: ovvero a una revisione profonda dei programmi di ricerca. In altri termini, alla crisi si accompagna una vera e propria caduta dei livelli della *probità scientifica*.

Ciò è tanto più sorprendente in un'epoca in cui il tema della *valutazione oggettiva* dei prodotti intellettuali, e di una loro *valutazione di qualità*, analoga a quella in uso nel caso dei prodotti materiali, è divenuto una vera e propria ossessione. Paradossalmente – ma anche questo è un paradosso del tutto apparente – mentre il livello qualitativo cade, il meccanismo di controllo dei risultati appare sempre più come una macchina rotta che gira a vuoto; e questo proprio mentre dilaga la pretesa di controllare e valutare oggettivamente ogni «prodotto» della mente! Tutto ciò non sorprende affatto, e il paradosso è del tutto apparente, in quanto è proprio la *pretesa di stabilire dei criteri di valutazione assolutamente oggettivi dei prodotti della mente* che rappresenta uno degli aspetti più grotteschi e volgari della nostra epoca, una vera e propria offesa di un autentico spirito *scientifico*. Anzi: si può ben dire che gli aspetti fallimentari e grotteschi di questa teorica della valutazione sono *un'ulteriore espressione del carattere velleitario dei progetti di descrizione scientifica oggettiva dei processi soggettivi*.

⁽⁹⁾ Cfr. G. Israel 1996, 2000b, 2001, 2002, Ingrao, Israel 1987.

Vogliamo dare, al riguardo un esempio significativo.

Dopo una prima messa a punto nell'Università della Florida, si è diffuso nelle Università statunitensi (quantomeno in quelle che ricevono almeno venti milioni di dollari di finanziamenti federali) un sistema di valutazione, il cosiddetto *Lombardi program on measuring University performance*, il quale non si riferisce alla produzione scientifica in senso stretto – e come sarebbe possibile definire dei parametri di valutazione della produzione scientifica semplici e maneggevoli e, soprattutto, *quantitativi*?... – ma a nove indicatori convenzionali di produttività. Quattro di questi indicatori sono puramente economici. Si tratta delle spese totali per la ricerca, delle spese federali per la ricerca, dei lasciti e delle donazioni ricevuti, e dei contributi fiscali ricevuti dall'Università. Due indicatori sono relativi ai criteri di onorificenza: le affiliazioni dei membri dello *staff* alla *NAS* (*National Academy of Science*), alla *NAE* (*National Academy of Engineering*), all'*IM* (*Institute of Medicine*) e i riconoscimenti assegnati allo *staff*. Infine, tre indicatori sono relativi al «successo di pubblico»: il numero annuale di dottorati assegnati, il numero annuale di post-doc, i valori medi nei tests di ammissione. Orbene, non è difficile mostrare che siffatti criteri applicati alla ricerca (e vi sono già esempi della loro applicazione, se non totale, parziale) conducono a una serie di inconvenienti gravi fra i quali possiamo menzionare i più evidenti.

In primo luogo, la valutazione basata sulla quantità di fondi già ricevuti afferma il principio secondo cui quanti più soldi hai tanti più soldi avrai. Ovvero, chi non ha nulla o ha poco non entrerà mai nel circuito. Inoltre, l'autore di un risultato che richiede pochi mezzi (per esempio, se si tratta della dimostrazione dell'ultimo teorema di Fermat con carta e penna) sarà punito: non otterrà nulla perché non ha speso nulla. Viceversa chi ha formulato un mediocre modello matematico utilizzando costosi mezzi di calcolo, sarà premiato. Se, oltre a spendere molto, si producono dei modelli (per esempio sugli *stock exchanges*) che riguardano il movimento di enormi capitali, si sarà ancora più premiato. Se poi questi modelli sono inefficaci, non prevedono nulla e servissero soltanto a far perdere denaro a chi avesse la cattiva idea di usarli, non importa. Difatti la qualità della ricerca non ha la minima

rilevanza. Essa non è un parametro quantificato. E del resto, come potrebbe esserlo?

Appare altresì evidente come il criterio delle onorificenze costituisca una vera e propria ostruzione nei confronti di nuovi settori di ricerca. Un giovane scienziato che abbia l'ardire di mettersi a far ricerca in un settore non considerato di moda, o addirittura contro corrente, rischierebbe di essere stroncato prima ancora di fare il primo passo. Con questi criteri, Einstein, nell'Europa ostile alla relatività del primo ventennio del secolo, avrebbe fatto una brutta fine.

Quanto al terzo gruppo di criteri, basterà ricordare la vicenda (autentica) di un docente che insegnava letteratura europea medioevale in un'università statunitense. Avendo pochi studenti, la sua posizione era sempre più precaria. Poiché era appassionato di cinema, propose di fare un corso di storia del cinema. Da quel momento, la sua aula si riempì di un centinaio di studenti, la sua posizione accademica ed economica divenne eccellente. Ma in quella università non esiste più un buon docente che svolge un buon corso di letteratura europea medioevale.

A quanto precede si potrebbe obiettare che la ricerca viene valutata anche con criteri di «merito», per esempio il cosiddetto *impact factor* (ovvero il numero di citazioni di un articolo, il quale dipende dalla diffusione della rivista che pubblica un dato articolo, e che costituirebbe quindi una misura del valore scientifico dell'articolo medesimo). In realtà, questo è un criterio veramente sciocco. «Sur la dynamique de l'électron» di Henri Poincaré può essere considerato come uno degli articoli scientifici più importanti del secolo scorso [Poincaré 1906]. Fu pubblicato sui *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, una rivista siciliana di secondo ordine che divenne prestigiosa in quanto la cura con cui veniva prodotta dal suo *editor* le attirò le simpatie di illustri matematici, che pubblicarono su di essa articoli di grande valore come quello di Poincaré. Ma, all'epoca, l'«*impact factor*» di un articolo pubblicato su quella rivista sarebbe stato nullo rispetto a quello conseguito pubblicando lo stesso articolo, poniamo, sui *Mathematische Annalen*. Un «valutatore» contemporaneo avrebbe dovuto attribuire un modesto «rating» all'articolo di Poincaré.

5. Alcune osservazioni conclusive.

Non è compito di un articolo come questo andare troppo oltre un punto di vista descrittivo delle tendenze che hanno modificato radicalmente il rapporto fra scienza e tecnologia nell'ultimo trentennio. Tuttavia, le conseguenze di questi cambiamenti appaiono talmente profonde e, per certi versi, talmente negative, che ci risulta impossibile non proporre alcune considerazioni circa il modo di contrastarne gli aspetti peggiori. Proviamo a riassumerle molto sinteticamente in alcuni punti.

Il primo punto riguarda l'esigenza di sviluppare una critica radicale del riduzionismo, e in particolare della tendenza a considerare acriticamente come una necessità la «naturalizzazione» di tutte le forme di conoscenza, la riduzione delle scienze umane alle scienze naturali, magari attraverso una matematizzazione senza limiti e senza discernimento. Occorre invece, a nostro avviso, difendere l'idea che la conoscenza si struttura a differenti livelli i quali debbono godere di un elevato grado di autonomia reciproca, il che non esclude – al contrario – l'esigenza e l'utilità delle loro reciproche interrelazioni.

In secondo luogo, occorre difendere l'idea che una scienza che non faccia parte di un progetto conoscitivo, ma abbia invece una funzione meramente trasformativa, è un fattore negativo per la dinamica della società, corrisponde alla negazione di ogni principio umanistico e, in definitiva, ha un effetto dannoso e inibitorio sullo sviluppo della scienza stessa.

Un altro tema centrale è quello del rapporto fra scienza ed etica. Al riguardo, riteniamo che occorra affermare il principio che la sfera delle questioni etiche non appartiene alla scienza e che, quindi, la scienza è soggetta agli orientamenti etici e morali generali che la società esprime in un dato contesto storico. Pertanto, la scienza non può essere sottratta a qualsiasi forma di intervento regolativo. D'altra parte, nel considerare le varie forme di tale intervento, non bisogna dimenticare che la scienza è un sistema delicato e complesso, il quale deve essere preservato quanto più sia possibile da ogni intervento esterno. Le regolazioni della scienza debbono quindi avere un aspetto «protettivo», nel senso di privilegiare tutti i settori più delicati e deboli,

soprattutto quelli «disinteressati» e rivolti alla conoscenza, mentre debbono indirizzare gli interventi «limitativi» alla fase più direttamente trasformativa. Siamo perfettamente consapevoli che questo è il problema più complesso. Ci rendiamo conto delle obiezioni di von Neumann e del suo ammonimento circa l'estrema difficoltà di separare ciò che è benefico da ciò che è pericoloso e circa il fatto che, nel sistema tecnoscientifico, il leone e l'agnello sono spesso vicinissimi tra di loro e addirittura si confondono. Tuttavia, rinunciare a qualsiasi forma di intervento su questi basi, configura un atteggiamento che può avere conseguenze negative in tutti i sensi. Un esempio può aiutare a comprendere quanto intendiamo dire. In tempi recenti, il diffondersi di voci circa la realizzazione della clonazione umana ha diffuso due ordini di reazioni: da un lato una reazione sdegnata da parte di moltissime persone, anche in ambito scientifico, accompagnata dalla richiesta energica di interventi di regolazione e di sanzioni anche penali; d'altra parte, il diffondersi in molti altri ambienti scientifici, del timore che siffatti esperimenti «eccessivi» inducano un blocco totale della ricerca anche in settori ritenuti benefici per la lotta contro le malattie genetiche e contro il cancro. In verità, dovrebbe apparire chiaro che proprio l'assenza di interventi regolativi energici e l'atteggiamento di debolezza e di lassismo nei confronti di iniziative irresponsabili è all'origine della possibile richiesta di blocchi indiscriminati. Pertanto chi paventa «blocchi della ricerca» dovrebbe considerare favorevolmente ogni intervento teso a impedire determinate forme di manipolazioni senza limiti. In verità, per il momento, il pericolo cui ci si trova di fronte non è certo quello del «blocco», bensì quello opposto – intendendo con «blocco» quello delle manipolazioni e non quello della ricerca che, in certo senso, è un dato di fatto, poiché – nell'esempio specifico che abbiamo considerato – tutto si fa eccetto che ricerca teorica e analisi concettuale.

L'unica via che abbiamo di fronte è un atteggiamento «ragionevole», il che, in questo caso, è sinonimo di «razionale», poiché significa rifuggire dagli eccessi fanatici, quelli del liberismo sfrenato e della pianificazione coercitiva, quelli dell'integralismo religioso e dell'integralismo scienziato. Si tratta forse di un atteggiamento vago e generico? Nient'affatto, a nostro avviso, e comunque esso è l'unico

possibile. Difatti, come avvertiva già molto tempo fa Immanuel Kant nei *Sogni di un visionario chiariti con sogni della metafisica*, «cedere ad ogni capriccio della curiosità e permettere che la nostra passione per la ricerca non abbia altri limiti che le nostre capacità dimostra un ardore intellettuale che non disdice all'*erudizione*. Ma è alla *saggezza* che spetta il merito di scegliere, fra gli innumerevoli problemi che si offrono, quelli la cui soluzione è importante per il genere umano».

In definitiva, quel che è più importante è la difesa senza compromessi di una visione umanistica della scienza e della tecnologia. Una tecnologia a dimensione umana non potrà mai nascere dai meccanismi della tecnologia stessa, tanto meno da quelli che concepiscono il ruolo della tecnologia come quello di motore di uno sviluppo senza limiti e non avente altri fini se non se stesso, e che assoggettano sia l'uomo che la natura a questa vera e propria forma di mitologia.

BIBLIOGRAFIA

- H. ATLAN - M. AUGÉ - M. DELMAS-MARTY - ROGER-POL DROIT e N. FRESCO, *Le clonage humain*, Paris, Seuil, 1999.
- W. ASPRAY e A. BURKS, *Papers of John von Neumann on Computing and Computer Science*, Cambridge, Mass., MIT Press /Tomash Publishers, Los Angeles, 1987.
- M. CRICHTON, *Jurassic Park*, New York, Ballantine Books, 1990.
- S. J. HEIMS, *John von Neumann and Norbert Wiener. From Mathematics to the Technologies of Life and Death*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1980.
- E. HUSSERL, *Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendentale Phänomenologie*, Aja, Nijhoff; trad. italiana *La crisi delle scienze europee e la fenomenologia trascendentale*, Milano, EST, 1997.
- B. INGRAO e G. ISRAEL, *La Mano Invisibile, L'equilibrio economico nella storia della scienza*. Bari, Laterza (19962, 1999³, 2006⁴); ed. inglese: *The Invisible Hand. Economic Equilibrium in the History of Science*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 1990; paperback 2000).
- G. ISRAEL, *La mathématisation du réel. Essai sur la modélisation mathématique*, Paris, Éditions du Seuil, 1996 (trad. italiana *La visione matematica della realtà*, Roma-Bari, Laterza, 1996, 19972, 2003³).
- G. ISRAEL, *Il Giardino dei Noci. Incubi postmoderni e tirannia della tecnoscienza*, Napoli, CUEN-Città della Scienza, 1998; traduzione francese *Le jardin au noyer. Pour un nouveau rationalisme*, Paris, Seuil, 2000.

- G. ISRAEL, *La matematica italiana, il fascismo e la politica razziale*, in *Matematica e cultura 2000* (a cura di Michele Emmer), Milano, Springer Verlag Italia (2000a), 21-48.
- G. ISRAEL, *Una sfida estrema: la matematizzazione delle scienze economiche*, Nuova Civiltà delle Macchine, Anno XVIII, n° 3 (2000b), 42-49.
- G. ISRAEL, *Modèle-récit ou récit-modèle?*, in *Le modèle et le récit*, (sous la direction de Jean-Yves Grenier, Claude Grignon, Pierre-Michel Menger), Paris, Editions de la Maison des sciences de l'homme (2001), 365-424.
- G. ISRAEL, *The Two faces of Mathematical Modelling: Objectivism vs. Subjectivism, Simplicity vs. Complexity*, in *The Application of Mathematics to the Sciences of Nature. Critical Moments and Aspects* (P. Cerrai, P. Freguglia, C. Pellegrini, eds.), New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers (2002), 233-244.
- G. ISRAEL, *Liberarsi dei demoni*, Milano-Genova, Marietti, 2006.
- G. ISRAEL e A. MILLÁN GASCA, *Il mondo come gioco matematico. John von Neumann scienziato del Novecento*, Roma, La Nuova Italia scientifica, 1996 (ed. spagnola: *El mundo como un juego matemático. John von Neumann, un científico del siglo XX*, Madrid, Nivola, Ciencia Abierta 2, 2001).
- G. ISRAEL e A. MILLÁN GASCA, *Von Neumann. La matematica per il dominio della realtà*, Serie *I grandi della scienza*, Le Scienze (ed. italiana di Scientific American), n. 26 (2002a).
- G. ISRAEL e A. MILLÁN GASCA, *The Biology of Numbers. The Correspondence of Vito Volterra on Mathematical Biology*, Basel-Boston-Berlin, Birkhäuser Verlag, Science Networks – Historical Studies vol. 26 (2002b).
- G. ISRAEL e P. NASTASI, *Scienza e razza nell'Italia fascista*, Bologna, Il Mulino (1992).
- F. JACOB, *La logique du vivant*, Paris, Gallimard, 1970.
- J. OLFF-NATHAN (sous la direction de), *La science sous le Troisième Reich*, Paris, Seuil, 1993.
- H. POINCARÉ, *Sur la dynamique de l'électron*, Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo, Serie I, 21 (1906), 129-176.
- P. ROSSI (a cura di), *La nuova ragione: scienza e cultura nella società contemporanea*, Bologna, Scientia/Il Mulino, 1981.
- G. C. ROTA, *Osservazioni sull'intelligenza artificiale*, Bollettino dell'Unione Matematica Italiana, (6), 5-A (1986), 1-12.
- A. H. TAUB, *John von Neumann: Collected Works*, (voll. 6), New York, MacMillan, 1961-1963.
- C. A. TRUESDELL, *Il calcolatore: rovina della scienza e minaccia per il genere umano*, in Rossi 1981, 37-65.
- J. VON NEUMANN, *First Draft on a Report on the EDVAC*. Report prepared for U.S. Army Ordnance Department and the University of Pennsylvania under Contract W-670-ORD-4926, June 30, Summary Report 2, ed. By J.P. Eckert, J.W. Mauchly, and S. R. Warren, 1945.

- J. VON NEUMANN, *Statement of John von Neumann before the Special Senate Committee on Atomic Energy, 31 January*. Hearings before the Special Committee on Atomic Energy, U.S. Senate. 77th Congress, 2nd sess., on S. 1717. A Bill for the Development and Control of Atomic Energy, 1946 [in Taub 1961-1963, Vol. VI, no. 37, pp. 499-502].
- J. VON NEUMANN, *Method in the Physical Sciences*, in L. Leary (ed.). *The Unity of Knowledge*. New York: Doubleday: (1955a), 157-164 [in Taub 1961-1963, Vol. VI, no. 35, pp. 491-498].
- J. VON NEUMANN, *Can we survive technology?*, Fortune, 1955b [in Taub 1961-1963, Vol. VI, no. 36, pp. 504-519].
- O. ZARISKI e P. SAMUEL, *Commutative Algebra*, (2 voll.), Princeton, N.J., USA, Van Nostrand, 1958.

Giorgio Israel, Dipartimento di Matematica
Università di Roma «La Sapienza»
P.le A. Moro, 2, 00185 Roma (Italy)
e-mail: israel@mat.uniroma1.it

